

РОСЛИНИ РОДИНИ АРІАСЕАЕ

як джерело ефірних олій та їхня роль у контролі фітопатогенних бактерій

Мета. Систематизація літературних даних про бактеріальне забруднення насіння рослин родини Аріасеае (селерові), аналіз пов'язаних із ним фітопатогенних бактерій та узагальнення відомостей щодо антимікробного потенціалу ефірних олій цих рослин, як природного засобу стримування розвитку патогенів.

Методи. Дослідження має оглядово-аналітичний характер і базується на систематизації та контент-аналізі сучасних наукових публікацій із міжнародних баз даних щодо антимікробної активності ефірних олій рослин родини Аріасеае та їхнього потенціалу у пригніченні фітопатогенних бактерій.

Результати. Дослідження показали, що ефірні олії рослин родини Аріасеае, багаті на монотерпени, фенольні сполуки, ароматичні альдегіди та інші леткі біоактивні компоненти, проявляють широкий спектр антимікробної активності. Основними механізмами дії є порушення цілісності клітинних мембран бактеріальних клітин, пригнічення ферментативних систем, вплив на процеси енергетичного обміну та інгібування росту бактерій. Комплексний хімічний склад ефірних олій забезпечує синергічний ефект, підсилюючи антимікробну активність і зменшуючи ризик розвитку стійкості у мікроорганізмів. Аналіз літературних джерел дав можливість окреслити перспективи практичного застосування ефірних олій для біологічного захисту насіння та рослин. Зокрема, обговорюються можливості їх використання у технологіях передпосівної обробки насіння, створенні природних антимікробних композицій та біопрепаратів, що може знизити залежність від синтетичних пестицидів, покращити фітосанітарний стан посівного матеріалу і забезпечити екологічне вирощування культур. **Висновок.** Ретроспективний аналіз наукових джерел засвідчив, що насіння рослин родини Аріасеае є потенційним резервуаром фітопатогенних бактерій, водночас, слід зазначити, що ефірні олії цих

***Л.В. ГАВРИЛЮК,**
 докторка філософії з біологічних наук,
 ORCID: 0000-0001-6901-0766

¹О.О. КІЧІГІНА,
 кандидатка сільськогосподарських наук,
 ORCID: 0000-0003-0879-627X

²Д.Т. ГЕНТОШ,
 кандидат сільськогосподарських наук,
 ORCID: 0000-0001-8647-7843

²О.В. БАШТА,
 кандидатка біологічних наук,
 ORCID: 0000-0003-4682-1595

²Д.Р. ОЛІФЕР,
 ORCID: 0009-0000-2088-0947

²О.Р. ПОБЕРЕЖСЬКИЙ,
 ORCID: 0009-0000-2513-5671

¹Інститут агроєкології
 і природокористування НААН,
 вул. Метрологічна, 12, м. Київ,
 03143, Україна

²Національний університет біоресурсів
 і природокористування України,
 вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ,
 03041, Україна

*E-mail: gavrilluklilia410@gmail.com

культур характеризуються значним антимікробним потенціалом, що обґрунтовує їхню перспективність як екологічно безпечних засобів обмеження бактеріальної інфекції та впровадження у сучасні системи біологічного захисту рослин.

селерові культури; насіннева інфекція; лікарські та ефіроолійні культури

Однією з актуальних проблем сучасного насінництва є мікробіологічна контамінація насіння, зокрема бактеріальною мікрофлорою. Особливо це стосується лікарських та ефіроолійних рослин родини Аріасеае, які широко використовуються у фармацевтичній, харчовій та аграрній галузях. Насіння є цінним джерелом

біологічно активних речовин, зокрема ефірних олій, флавоноїдів та інших вторинних метаболітів [1, 2]. Попри це насіння даних культур може бути носієм як поверхневої, так і внутрішньої інфекції, що забезпечує тривале збереження фітопатогенних бактерій та подальше поширення у посівах. Передача патогенних бактерій через насіннєвий матеріал є одним із важливих шляхів поширення бактеріальних хвороб рослин, особливо на ранніх етапах розвитку культур [2].

Наявність бактеріальної інфекції здатна негативно впливати на посівні якості насіння, знижувати енергію проростання та схожість, а також спричиняти розвиток бактеріозів, що призводить до зменшення продуктивності рослин. Серед бактерій, які можуть асоціюватися з насінням лікарських та ефіроолійних культур родини Аріасеае, важливе значення мають представники родів *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Pectobacterium*, *Erwinia* та деякі інші [3]. Ці мікроорганізми здатні викликати різні патологічні процеси, зокрема бактеріальні плямистості, гнилі та інші ураження рослинних тканин. Окремі види бактерій можуть зберігатися у насінні у латентному стані, не проявляючи зовнішніх ознак інфекції, що значно ускладнює їх виявлення та контроль у процесі вирощування лікарських ефіроолійних культур.

Метою дослідження було узагальнити дані щодо бактеріальної контамінації насіння рослин родини Аріасеае, визначити основні групи фітопатогенних бактерій, асоційованих із насінням, та оцінити потенціал ефірних олій цих рослин як природних анти-

мікробних агентів для обмеження розвитку патогенів.

Матеріали та методика. Робота має оглядово-аналітичний характер і базується на узагальненні сучасних наукових даних щодо біологічної активності ефірних олій насіння лікарських та ефіроолійних рослин родини Аріасеае і їх ролі у пригніченні фітопатогенних бактерій. Інформаційною основою дослідження стали публікації з рецензованих вітчизняних та міжнародних наукових видань, індексованих у базах даних Scopus, Web of Science, PubMed, ScienceDirect та Google Scholar. Пошук літератури здійснювали за тематичними ключовими словами, що стосуються ефірних олій селерових культур, антимікробної активності рослинних метаболітів і бактеріальних патогенів рослин.

Методологічну основу становили загальнонаукові методи аналізу, порівняння та узагальнення наукових джерел. Проведено контент-аналіз публікацій для визначення основних напрямів досліджень і оцінки антимікробного потенціалу ефірних олій щодо фітопатогенних бактерій. Узагальнення отриманих даних дозволило окреслити сучасні тенденції у використанні рослинних вторинних метаболітів як природних антибактеріальних агентів та визначити перспективи їх застосування для обмеження бактеріальної інфекції насіння рослин родини Аріасеае.

Результати та обговорення. Видовий склад фітопатогенних бактерій насіння рослин родини Аріасеае. Незважаючи на те, що насіння рослин родини Аріасеае (*Umbelliferae* — селерові) містить значну кількість ефірних олій та інших вторинних метаболітів із вираженими антимікробними властивостями, воно не є повністю захищеним від мікробної контамінації. Насіння у процесі формування, збирання та зберігання може заселятися різними фітопатогенними мікроорганізмами, зокрема бактеріями. Унаслідок цього насіннєвий матеріал здатний виступати резервуаром інфекції та джерелом поширення бактеріальних хвороб у посівах.

Серед бактеріальних патогенів, асоційованих із насінням рослин родини Аріасеае, найчастіше виявляють представників родів *Pseudomonas* spp., *Xanthomonas*, *Erwinia* spp., *Clavibacter* spp. та *Curtobacterium* spp. (рис.).

Більшість фітопатогенних бактерій, асоційованих з насінням Аріасеае, мають паличкоподібну форму клітин, характерну для багатьох грамнегативних та грампозитивних бактерій, і можуть бути рухливими завдяки джгутикам або утворювати слизові капсули та біоплівки. Ці мікроорганізми здатні спричиняти різні захворювання рослин, що проявляються у вигляді плямистостей, гнилей, судинних уражень та інших патологічних змін. Такі інфекції можуть поширюватися через контаміноване насіння і призводити до значного зниження якості та врожайності культур.

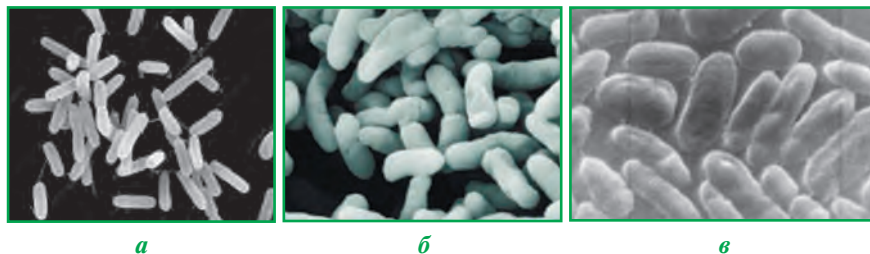
Чутливість до ураження рослин та насіння хворобами зумовлена низкою біологічних і екологічних чинників.

По-перше, концентрація ефірних олій та інших антимікробних метаболітів у насінні може бути недостатньою для повного пригнічення розвитку всіх мікроорганізмів. Крім того, їх розподіл у тканинах насіння є нерівномірним, що створює мікроніші, придатні для виживання бактерій. Наприклад, у насінні *Coriandrum sativum* L. основним компонентом ефірної олії є ліналоол, що проявляє антибактеріальну активність до ряду грамнегативних бактерій. Однак його концентрація у тканинах насіння не завжди є достатньою для повного пригнічення росту патогенних бактерій. Вперше було підтверджено бактеріальну плямистість кори-

андру в Китаї. Збудником хвороби є бактерія виду *Pseudomonas syringae* pv. *coriandricola* van Hall. Патоген може передаватися через насіння та рослинні рештки [4]. Подібна ситуація спостерігається і для *Foeniculum vulgare* Mill., ефірна олія якого багата на анетол та фенхон. Незважаючи на їхні антимікробні властивості, на насінні фенхелю іноді виявляють бактерії родів *Pseudomonas* та *Erwinia*, що свідчить про здатність цих мікроорганізмів адаптуватися до дії рослинних метаболітів. Автори S. Srivastava, R. Kumar та ін. підкреслюють важливість фітосанітарного контролю насіння та біологічних методів захисту [5].

Аналогічно, насіння *Anethum graveolens* L. та *Carum carvi* L. містить ефірні олії, основними компонентами яких є карвон і лімонен. Ці сполуки здатні пригнічувати ріст багатьох бактерій, однак у природних умовах їхня концентрація може бути недостатньою для повного контролю фітопатогенних мікроорганізмів. У результаті бактерії, зокрема *Pectobacterium carotovorum* (Jones) Waldee або деякі види роду *Pseudomonas*, можуть зберігатися у мікропорожнинах насіннєвої оболонки або у поверхневих шарах перикарпії [6].

По-друге, деякі фітопатогенні бактерії характеризуються високою адаптивністю і здатні формувати захисні механізми, зокрема біоплівки або фізіологічні форми зі зниженою метаболічною активністю. Це забезпечує їхню здатність виживати на поверхні або всередині насіння навіть за наявності антимікробних сполук. Наприклад, бактерія *Pseudomonas syringae* van Hall, яка часто асоціюється з рослинами роди-



а

б

в

Рис. Бактерії родів:
а — *Pseudomonas*; б — *Xanthomonas*; в — *Erwinia*.
Уявлено за допомогою ШІІ

ни *Apiaceae*, здатна формувати біоплівки на поверхні рослинних тканин і насіння. У такому стані клітини бактерій краще захищені від дії антимікробних компонентів ефірних олій, зокрема ліналолу чи анетолу. Це дозволяє патогену зберігатися на поверхні насіння коріандру або петрушки і виступати джерелом первинної інфекції під час проростання рослин [7]. Іншим прикладом є *Xanthomonas campestris* (Pammel) Dowson, яка може тривалий час зберігатися на поверхні насіння завдяки утворенню слизових екзополісахаридів. Ці речовини формують захисний шар навколо бактеріальних клітин, що знижує проникнення антимікробних сполук. У результаті бактерія може виживати на насінні моркви або фенхелю навіть за наявності природних метаболітів із антибактеріальною активністю [8]. Крім того, деякі бактерії здатні переходити у стан зниженої метаболічної активності або латентної інфекції. Наприклад, представники родів *Pectobacterium* та *Erwinia*, які викликають м'які гнилі рослин, можуть тривалий час зберігатися у тканинах насіння без прояву видимих симптомів ураження. У такому стані бактерії неактивно метаболізують і менш чутливі до дії антимікробних сполук. Після проростання насіння та за сприятливих умов вони активізуються і здатні спричинити інфекційний процес у проростках або дорослих рослинах [9].

По-третє, контамінація насіння часто відбувається під час вегетації рослин, збирання врожаю та післязбиральної обробки. У цей період насіння контактує з ґрунтом, рослинними рештками та водою, які можуть бути джерелом інфекції. Наприклад, під час вирощування моркви бактерія *Xanthomonas hortorum* pv. *carotae* (Kendrick) Vauterin et al., збудник бактеріальної плямистості, може поширюватися з інфікованих рослин на плоди та насіння через дощові краплі або зрошувальну воду. У результаті насіння стає носієм патогену і може передавати інфекцію молодим рослинам під час проростання [10]. Іншим

прикладом є *Pseudomonas syringae* van Hall, яка здатна потрапляти на насіння коріандру або петрушки під час вегетації рослин через аерозольне перенесення або контакт із зараженими рослинними рештками. Бактерія може зберігатися на поверхні насінневої оболонки та активізуватися після проростання насіння [11]. Крім того, під час збирання врожаю та обмолоту насіння можливе його додаткове інфікування через контакт із ґрунтом, у якому можуть міститися бактерії представників родів *Pectobacterium* та *Erwinia* [11]. Ці мікроорганізми здатні потрапляти на поверхню насіння кмину або кропу разом із частками ґрунту та рослинними рештками. Також важливим джерелом контамінації може бути вода, що використовується під час післязбиральної обробки або очищення насіння. Наприклад, бактерії *Pseudomonas fluorescens* Migula або різні види бактерій роду *Xanthomonas* spp. можуть поширюватися з водою та осідати на поверхні насіння різних видів селерових культур. Крім того, умови зберігання насінневого матеріалу (вологість, температура, аерація) можуть сприяти збереженню або навіть частковому розвитку бактеріальної мікрофлори.

У сукупності зазначені фактори пояснюють, чому насіння рослин родини *Apiaceae*, попри наявність природних антимікробних сполук, може залишатися носієм фітопатогенних бактерій, які можуть передаватися через насіння і виступати джерелом первинної інфекції у посівах, викликаючи плямистості, гнилі, судинні ураження та інші патологічні процеси у рослин. Це створює серйозну загрозу та обмеження для врожаю, спричиняючи щорічні втрати в усьому світі [12].

Бактеріальні захворювання розрізняють за здатністю їхніх збудників інфікувати рослини, поширюватися в агроценозах, швидкістю росту бактеріальних популяцій та потенціалом спричиняти епіфітотійний розвиток хвороб. Узагальнено наукові дані про основні фітопатогенні бактерії, асоційовані з насінням рослин родини *Apiaceae*, їхніх основних рослин-господарів та характерні прояви ураження (табл. 1). Показано, що представники родів *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Pectobacterium*, *Erwinia*, *Clavibacter* і *Curtobacterium* здатні спричинити різні бактеріальні захворювання селерових культур, які проявляються у вигляді плямистостей, гнилей, судинних уражень і в'янення рослин.

1. Основні фітопатогенні бактерії, асоційовані з насінням родини *Apiaceae* [12]

Бактерія	Рослина-господар (Apiaceae)	Захворювання	Прояви ураження
<i>Xanthomonas hortorum</i> pv. <i>carotae</i>	<i>Daucus carota</i> (морква посівна)	Бактеріальна плямистість листків	Темні водянисті плями на листках, ураження сходів
<i>Pseudomonas syringae</i>	<i>Coriandrum sativum</i> (коріандр посівний), <i>Petroselinum crispum</i> (петрушка кучерява)	Бактеріальна плямистість	Некротичні плями на листках і стеблах
<i>Pectobacterium carotovorum</i>	<i>Daucus carota</i> (морква посівна), <i>Apium graveolens</i> (селера пахуча)	М'яка бактеріальна гниль	Мацерація тканин коренеплодів
<i>Clavibacter michiganensis</i>	<i>Daucus carota</i> (морква посівна)	Судинні бактеріози	Порушення провідної системи рослин
<i>Curtobacterium flaccumfaciens</i>	<i>Coriandrum sativum</i> (коріандр посівний), <i>Petroselinum crispum</i> (петрушка кучерява)	Бактеріальне в'янення	Пожовтіння і в'янення листків
<i>Xanthomonas campestris</i>	<i>Foeniculum vulgare</i> (фенхель звичайний), <i>Anethum graveolens</i> (кріп пахучий)	Бактеріальна плямистість	Некротичні ураження листової поверхні
<i>Erwinia amylovora</i>	<i>Foeniculum vulgare</i> (фенхель звичайний)	Бактеріальні ураження тканин	В'янення та некроз тканин
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (умовно патогенна)	Різні рослини родини <i>Apiaceae</i>	Бактеріальні ураження проростків	Пригнічення росту сходів

Важливу роль у формуванні насінневої інфекції відіграють фітопатогенні бактерії роду *Pseudomonas*, зокрема *Pseudomonas syringae* van Hall, яка здатна уражувати коріандр (*Coriandrum sativum* L.) та петрушку (*Petroselinum crispum* Mill.). Бактерії роду *Pectobacterium* та *Erwinia* (*Pectobacterium carotovorum* (Jones) Waldee та *Erwinia amylovora* (Burrill) Winslow et al.) належать до групи пектолitiчних патогенів, які викликають гнилі рослинних тканин. Наприклад, фітопатогенні бактерії виду *Pectobacterium carotovorum* часто асоціюються з коренеплодами моркви (*Daucus carota* L.) та селери (*Apium graveolens* L.) і викликають розвиток м'яких бактеріальних гнилей. Окрему групу становлять грампозитивні бактерії, зокрема *Clavibacter michiganensis* (Smith) Davis et al. і *Curtobacterium flaccumfaciens* (Hedges) Collins & Jones, які здатні спричиняти судинні ураження та бактеріальне в'янення рослин. Крім того, на насінні селерових культур можуть виявлятися умовно патогенні бактерії, такі як *Pseudomonas fluorescens* Migula, що за певних умов здатні пригнічувати розвиток проростків і знижувати життєздатність сходів. Також повідомляється про асоціацію бактерій *Xanthomonas campestris* (Pammel) Dowson з культурами фенхель (*Foeniculum vulgare* Mill.) і кріп (*Anethum graveolens* L.), де вони спричиняють розвиток бактеріальної плямистості листків.

Ефірні олії рослин родини Аріасеае та їхній антибактеріальний потенціал у контролі фітопатогенних бактерій. Рослини родини Аріасеае (селерові) займають важливе місце серед лікарських, пряно-ароматичних та ефіроолійних культур, які широко використовуються у фармацевтичній, харчовій та аграрній галузях. Представники цієї родини, зокрема *Coriandrum sativum* L. [13], *Foeniculum vulgare* Mill. [14], *Carum carvi* L. [15], *Anethum graveolens* L. [16], *Pimpinella anisum* L. [17] та інші, характеризуються високим вмістом ефірних олій, що містять значну кількість біологічно активних вторинних

метаболітів. Основними компонентами ефірних олій селерових рослин є монотерпени, фенольні сполуки та інші леткі органічні речовини, які проявляють широкий спектр біологічної активності, зокрема антибактеріальні властивості, у тому числі на фітопатогенні бактерії та їхніх збудників [18].

У сучасному рослинництві значну проблему становлять патогенні мікроорганізми, в тому числі бактерії, що здатні уражувати рослини на різних етапах розвитку, зокрема стадію формування та зберігання насіння. До найбільш поширених бактеріальних патогенів належать представники родів *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Erwinia*, *Clavibacter* та *Ralstonia*. Вони можуть спричиняти значні втрати врожаю, погіршення якості посівного матеріалу та зниження продуктивності культур [19]. Традиційні методи контролю бактеріальних інфекцій часто передбачають використання хімічних засобів захисту рослин, проте їх застосування пов'язане з ризиком формування резистентності у патогенів, накопиченням токсичних залишків у довкіллі та негативним впливом на корисну мікробіоту [20, 21]. У зв'язку з цим зростає інтерес до використання природних біологічно активних сполук рослинного походження як альтернативи синтетичним бактерицидним препаратам [22]. У роботах багатьох науковців ефірні олії рослин родини Аріасеае розглядаються як перспективне джерело природних антимікробних агентів завдяки високій концентрації летких біоактивних компонентів [23, 24]. Дослідження показують, що ефірні олії насіння та вегетативних органів цих рослин здатні пригнічувати ріст і розвиток широкого спектра бактерій, у тому числі фітопатогенних [25]. Антибактеріальна активність ефірних олій зумовлена комплексною дією їхніх хімічних компонентів [26]. До найбільш активних речовин належать карвон, анетол, ліналоол, фенхон, лимонен, α -пінен та інші терпенові сполуки [27, 28]. Встановлено, що ці

компоненти можуть порушувати цілісність мембрани бактеріальних клітин, змінювати проникність клітинних оболонок, пригнічувати активність ферментних систем і порушувати процеси енергетичного обміну. У результаті відбувається пригнічення росту бактерій або їхня загибель (табл. 2).

Наведені у таблиці 2 дані свідчать, що ефірні олії рослин родини Аріасеае характеризуються різними механізмами антибактеріальної дії, зокрема порушенням цілісності клітинної мембрани бактерій, інгібуванням ферментативних систем та пригніченням росту бактеріальних популяцій. З екологічної точки зору використання ефірних олій рослин родини Аріасеае, як природних антимікробних агентів, може стати важливим елементом екологізації систем захисту рослин. Застосування рослинних метаболітів у технологіях біологічного контролю фітопатогенних бактерій сприяє зменшенню використання синтетичних пестицидів, зниженню хімічного навантаження на агроєкосистеми та збереженню біорізноманіття ґрунтової мікробіоти. Також наведені у таблиці дані свідчать про значне різноманіття бактеріальних патогенів, які можуть асоціюватися з насінням рослин родини Аріасеае. Їхня присутність у насіннєвому матеріалі створює ризики формування первинного інфекційного фону у посівах і підкреслює необхідність ретельного фітосанітарного контролю насіння, а також пошуку ефективних методів обмеження розвитку бактеріальної інфекції.

ВИСНОВКИ

Аналіз наукових джерел показав, що попри наявність у насінні селерових культур природних антимікробних метаболітів, зокрема ефірних олій, воно не є повністю захищеним від мікробної контамінації та може бути носієм фітопатогенних бактерій (*Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Erwinia*, *Pectobacterium*, *Clavibacter*, *Curtobacterium*), здатних викликати різні бактеріальні захворю-

2. Антибактеріальна активність ефірних олій деяких рослин родини Аріасеае щодо фітопатогенних бактерій [13–17, 26–28, 29–32]

Рослина	Основні компоненти ефірної олії	Фітопатогенні бактерії	Приклад прояву антибактеріальної дії	МІК* мг/мл
<i>Coriandrum sativum</i> (коріандр)	Ліналоол, α-пінен, γ-терпінен	<i>Pseudomonas syringae</i> , <i>Xanthomonas campestris</i>	Пригнічення росту бактеріальних колоній	0,25–0,5
<i>Anethum graveolens</i> (крпін)	Карвон, лімонен	<i>Pectobacterium carotovorum</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Інгібування розвитку бактерій та ферментативної активності	0,5–1,0
<i>Foeniculum vulgare</i> (фенхель)	Анетол, фенхон	<i>Xanthomonas campestris</i> , <i>Clavibacter michiganensis</i>	Порушення проникності клітинної мембрани	0,25–0,75
<i>Carum carvi</i> (кмин)	Карвон, лімонен	<i>Erwinia amylovora</i> , <i>Pectobacterium carotovorum</i>	Пригнічення росту та зменшення утворення біоплівки	0,25–0,5
<i>Pimpinella anisum</i> (аніс)	Анетол, естрагол	<i>Pseudomonas syringae</i> , <i>Xanthomonas</i>	Інгібування поділу бактеріальних клітин	0,3–0,8
<i>Cuminum cyminum</i> (кумин)	Кумінальдегід, терпінен	<i>Pectobacterium carotovorum</i> , <i>Erwinia</i>	Пригнічення синтезу ферментів патогенності	0,2–0,6
<i>Petroselinum crispum</i> (петрушка)	Апіол, миристицин	<i>Xanthomonas campestris</i> , <i>Pseudomonas</i>	Зменшення росту бактеріальних колоній	0,5–1,0
<i>Levisticum officinale</i> (любисток)	Фталіди, терпени	<i>Pseudomonas syringae</i> , <i>Clavibacter michiganensis</i>	Порушення клітинного метаболізму бактерій	0,4–0,9
<i>Angelica archangelica</i> L. (дягель)	α-пінен, β-пінен, лімонен	<i>Pseudomonas</i> , <i>Xanthomonas</i>	Пригнічення росту бактеріальних культур	0,5–1,2
<i>Trachyspermum ammi</i> (ажгон)	Тимол, карвакрол	<i>Erwinia amylovora</i> , <i>Pectobacterium carotovorum</i>	Руйнування клітинної мембрани бактерій	0,1–0,3
<i>Apium graveolens</i> (селера)	Лімонен, седанолід	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Xanthomonas</i>	Інгібування бактеріального росту	0,5–1,0
<i>Eryngium planum</i> (синьоголовник)	Терпени, сесквітерпени	<i>Pseudomonas</i> , <i>Xanthomonas</i>	Зниження бактеріальної активності	0,5–1,0

*Примітка: МІК — мінімальна інгібуюча концентрація ефірної олії, що пригнічує видимий ріст бактерій.

вання рослин. Отже, для мінімізації поширення фітопатогенних бактерій у насінні рослин родини Аріасеае доцільно застосовувати комплекс профілактичних заходів для обмеження розвитку бактеріальної інфекції. Разом із тим, ефірні олії рослин родини Аріасеае характеризуються широким спектром антибактеріальної активності та здатні пригнічувати ріст і розвиток низки фітопатогенних бактерій, що зумовлює перспективність їх у створенні екологічно безпечних засобів захисту рослин. Їх застосування для передпосівної обробки насіння, а також у складі природних антимікробних композицій і біопрепаратів може сприяти зменшенню використання синтетичних пестицидів, покращенню фітосанітарної якості насіннєвого матеріалу та підвищенню еко-

логічної стійкості агроєкосистем. Інтеграція рослинних біоактивних метаболітів у сучасні системи захисту рослин може сприяти підвищенню якості посівного матеріалу, підтриманню різноманіття ґрунтової мікробіоти та зниженню негативного антропогенного впливу на довкілля.

Фінансування. Дослідження проводили відповідно до державної тематики: 14.00.01.05.П. «Особливості формування фітопатогенного фону на насінні найбільш поширених видів лікарських та ефіроолійних рослин» (ДР № 0126U002556).

Використання штучного інтелекту. Автори використовували технології штучного інтелекту для того щоб згенерувати зображення демонстрації бактерій різних родів.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів щодо представлених матеріалів дослідження в статті.

¹L.V. Havryliuk, PhD in biology, ORCID: 0000-0001-6901-0766

¹O.O. Kichigina, candidate of agricultural sciences, ORCID: 0000-0003-0879-627X

²D.T. Hentosh, candidate of agricultural sciences, ORCID: 0000-0001-8647-7843

²O.V. Bashta, candidate of biological sciences, ORCID: 0000-0003-4682-1595

²D.R. Olifer, ORCID: 0009-0000-2088-0947

²O.R. Poberezhskyi, ORCID: 0009-0000-2513-5671

¹Institute of Agroecology and Environmental Management of the National Academy of Sciences of Ukraine, Metrologichna, 12, Kyiv, 03143, Ukraine

²National University of Life and Environmental Sciences, Heroiv Oborony, 15, Kyiv, 03041, Ukraine

*E-mail: gavriluklilia410@gmail.com

Plants of the apiaceae family as a source of essential oils and their role in the control of phytopathogenic bacteria: review

Goal. The work is devoted to the systematization of literary data on bacterial contamination of seeds of plants of the Apiaceae family, the analysis of phytopathogenic bacteria associated with it, and the generalization of information on the antimicrobial potential of essential oils of these plants as a natural means of restraining the development of pathogens. **Methods.** The study is of a review-analytical nature and is based on the systematization and content analysis of modern scientific publications from international databases concerning the antimicrobial activity of essential oils of plants of the Apiaceae family and their potential to suppress phytopathogenic bacteria. **Results.** The study showed that essential oils of plants of the Apiaceae family, rich in monoterpenes, phenolic compounds, aromatic aldehydes, and other volatile bioactive components, exhibit a broad spectrum of antibacterial activity. The main mechanisms of action include disruption of the integrity of bacterial cell membranes, inhibition of enzymatic systems, interference with energy metabolism, and inhibition of bacterial growth. The complex chemical composition of essential oils ensures a synergistic effect, enhancing antimicrobial activity and reducing the risk of

resistance development in microorganisms. The analysis of scientific literature made it possible to outline the prospects for the practical application of essential oils in the biological protection of seeds and plants. In particular, their use in pre-sowing seed treatment technologies, as well as in the development of natural antimicrobial compositions and biological preparations, is considered promising, as it may reduce dependence on synthetic pesticides, improve the phytosanitary condition of planting material, and ensure environmentally safe crop production. **Conclusion.** A retrospective analysis of scientific sources showed that seeds of plants of the Apiaceae family are a potential reservoir of phytopathogenic bacteria. At the same time, it should be noted that the essential oils of these crops are characterized by significant antimicrobial potential, which substantiates their promise as environmentally safe agents for limiting bacterial infections and their integration into modern biological plant protection systems.

umbrella crops; seed infection; medicinal and essential oil crops

REFERENCES

- Alikhanova N.S., Novruzov E.N. (2022). Chemical composition and biological activity of *Zosima absinthifolia* (Apiaceae). *Chemical Bulletin of Kazakh National University*, 105(2), 34-42. <https://doi.org/10.15328/cb1266>
- Sharopov F.S., Khalifaev P.D., Satyal P., Sun Ya., Safomuddin A., Musozoda S., Wink M., Setzer W.N. (2022). The chemical composition and biological activity of the essential oil from the underground parts of *Ferula tadshikorum* (Apiaceae). *Records of Natural Products*, 13(1), 18-23. <http://doi.org/10.25135/rnp.65.18.02.089>
- Samad A., Saeed S. (2024). Major diseases of aromatic plants. *Diseases of Ornamental, Aromatic and Medicinal Plants*, 207-231. <http://doi.org/10.2174/9789815223071124010009>
- Li L., Huang Y.S., Shi Y.X., Chai A.L., Xie X.W., Li B.J. (2022). First report of bacterial leaf spot of coriander caused by *Pseudomonas syringae* pv. *coriandricola* in China. *Plant Disease*, 106(5), 1516. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-21-1901-PDN>
- Srivastava S., Kumar R., Pal C., Mandar R.R., Singh V.K., Babu H.P. (2024). Diagnosis and detection of seed-borne pathogens in field crops. *Diseases of Field Crops: Diagnostics and Management*, 109-151. https://doi.org/10.1007/978-981-97-6160-9_6
- Osdaghi E. (2023). *Pectobacterium carotovorum* (bacterial soft rot). *CABI Compend*, 7, 21913. <https://doi.org/10.1079/cabicompend.21913>
- Kim J.S., Khan M.S.I., Kim T.Y., Lim M. Ch. (2025). Antibiofilm properties of essential oils against foodborne bacteria: a review of mechanisms. *Food Science and Biotechnology*, 35, 1059-1079. <https://doi.org/10.1007/s10068-025-01988-8>
- Bandyopadhyay N.C., Gautam S. (2023). Programmed cell death in *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* is associated with modulation of gene expression resulting in altered states of motility, biofilm and virulence. *Research in Microbiology*, 174(8), 104137. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2023.104137>
- Perfileva A.I., Strekalovskaya E.I., Klushina N.V., Gorbenco I.V., Krutovsky K.V. (2025). The causative agent of soft rot in plants, the phytopathogenic bacterium *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*: A brief description and an overview of methods to control it. *Agronomy*, 15(7), 1578. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071578>
- Dupas E., Durand K., Jacques M.A. (2024). Analysis of the worldwide diversity of *Xanthomonas hortorum* pv. *carotae*, the agent of bacterial blight of carrot, reveals two distinct populations. *PhytoFrontiers*, 4(2), 159-171. <https://doi.org/10.1094/PHYTOFR-04-23-0055-R>
- Canik Orel D., Oğuz E. (2023). Parsley (*Petroselinum crispum*) leaf and stem spot caused by *Erwinia persicina*. *Journal of Plant Pathology*, 105, 1539-1549. <https://doi.org/10.1007/s42161-023-01484-0>
- Gupta L., Chauhan M., Kumar A., Chauhan D. (2024). Plant diseases and their management. New York: Apple Academic Press, 41 s. <https://doi.org/10.1201/978103272856-10>
- Talebi S.M., Naser A., Ghorbanpour M. (2024). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils in different populations of *Coriandrum sativum* L. (coriander) from Iran and Iraq. *Food Science & Nutrition*, 12(6), 3872-3882. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4047>
- Khemili A., Bensizerara D., Chenchouni H., Chaibi R., Aissani N., Tegegne D.T., El-Sayed R. El-Sayed, Szumny A. (2024). Biological potential and essential oil profile of two wild Apiaceae species from Algeria (*Daucus carota* L. and *Foeniculum vulgare* Mill.): larvicidal and antibacterial effects. *Molecules*, 29(19), 4614. <https://doi.org/10.3390/molecules29194614>
- Liu C., Cheng F., Aisa H.A., Maiwulanjiang M. (2023). Comprehensive study of components and antimicrobial properties of essential oil extracted from *Carum carvi* L. seeds. *Antibiotics*, 12(3), 591. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030591>
- Bussmann R.W., Paniagua-Zambana N.Y., Khojimatov O.K., Kikvidze Z., Batsatsashvili K., Khutsishvili M., ..., Farida S.H.M. (2025). *Anethum graveolens* L. Apiaceae. Ethnobotany of the Caucasus, 721-733. https://doi.org/10.1007/978-3-031-91369-3_176
- Lafate V.L.A., Sicari V., Musarella C.M., Spampinato G., Maruca G., Giuffrè A.M. (2023). Morphological and phytochemical features in fruits of *Pimpinella anisoides* V. Brig. (Apiaceae). *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 157(1), 210-220. <https://doi.org/10.1080/11263504.2022.2160025>
- Golijan-Pantović J., Šarčević-Todosijević L., Popović V., Filipović V., Ikanović J. (2025). Antibacterial activity of plant essential oils and possibilities of application as biopesticides in plant production. *Zemljište i biljka*, 74(1), 41-63. <https://doi.org/10.5937/ZemBilj2501041G>
- Boro M., Sannyasi S., Chettri D., Verma A.K. (2022). Microorganisms in biological control strategies to manage microbial plant pathogens: a review. *Archives of microbiology*, 204(11), 666. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03279-w>
- Cucu M.A., Choudhary R., Trkulja V., Garg S., Matić S. (2025). Utilizing environmentally friendly techniques for the sustainable control of plant pathogens: A review. *Agronomy*, 15(7), 1551. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071551>
- Beyari E.A. (2025). Alternatives to chemical pesticides: the role of microbial biocontrol agents in phytopathogen management: a comprehensive review. *Journal of Plant Pathology*, 107, 291-314. <https://doi.org/10.1007/s42161-024-01808-8>
- Sharma A., Abrahamian P., Carvalho R., Choudhary M., Paret M.L., Vallad G.E., Jones J.B. (2022). Future of bacterial disease management in crop production. *Annual Review of Phytopathology*, 60, 259-282. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-021621-121806>
- Thiviya P., Gunawardena N., Gamage A., Madhujith T., Merah O. (2022). Apiaceae family as a valuable source of biocidal components and their potential uses in agriculture. *Horticulturae*, 8(7), 614. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070614>
- Önder S., Periz Ç.D., Ulusoy S., Erbaş S., Önder D., Tonguç M. (2024). Chemical composition and biological activities of essential oils of seven Cultivated Apiaceae species. *Scientific Reports*, 14(1), 10052. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64032-5>
- Jayakodi Y., Thiviya P., Gamage A., Evon P., Madhujith T., Merah O. (2024). Antioxidant activity of essential oils extracted from Apiaceae family plants. *Agrochemicals*, 3(1), 57-69. <https://doi.org/10.3390/agrochemicals3010006>
- Kozhanova K., Alimanova A., Datkhayev U., Serikbayeva E., Kayupova F., Zhumalina K., ..., Zhakipbekov K. (2025). Unlocking the potential exploring pharmacological properties from Apiaceae family. *Pharmacia*, 72, 1-14. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.72.e145193>
- Shinde S.S., Sarkate A.P., Nirmal N.P., Sakhale B.K. (2023). Bioactivity, medicinal applications, and chemical compositions of essential oils: detailed perspectives. *Recent frontiers of phytochemicals*, 353-367, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19143-5.00010-4>
- Abdelmohsen U.R., Elmaidomy A.H. (2025). Exploring the therapeutic potential of essential oils: a review of composition and influencing factors. *Frontiers in Natural Products*, 4, 1490511. <https://doi.org/10.3389/fnt-pr.2025.1490511>
- Krajewska A., Azeez G., Ebadollahi A., Kalembe D., Synowiec A. (2026). Carvone-Rich Essential Oils and Their Agrobiological Interactions: A Review. *Molecules*, 31(4), 579. <https://doi.org/10.3390/molecules31040579>
- Dumitrescu E., Muselin F., Tirziu E., Folescu M., Dumitrescu C.S., Orboi D.M., Cristina R.T. (2023). *Pimpinella anisum* L. essential oil a valuable antibacterial and antifungal alternative. *Plants*, 12(13), 2428. <https://doi.org/10.3390/plants12132428>
- Herrera-Calderon O., Saleh A.M., Mahmood A.A.R., Khalaf M.A., Calva J., Loyola-Gonzales E., ..., Pari-Olarte J.B. (2023). The essential oil of *Petroselinum crispum* (Mill) Fuss seeds from Peru: Phytotoxic activity and in silico evaluation on the target enzyme of the glyphosate herbicide. *Plants*, 12(12), 2288. <https://doi.org/10.3390/plants12122288>
- Hajian-Maleki H., Shams-bakhsh M. (2023). Identification of the chemical profile and evaluation of the antimicrobial effect of *Eryngium billardieri* Delar essential oil component against bacterial species of agricultural and food interest. *Frontiers in Microbiology*, 14, 14:1249780. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1249780>

Надійшла: 06.04.2026

Прийнята до друку: 01.06.2026

Надруковано й опубліковано онлайн:
вересень 2026